



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10270309 A**(43) Date of publication of application: **09.10.98**

(51) Int. Cl.

**H01L 21/027**  
**G03F 7/20**  
**// F16F 15/04**

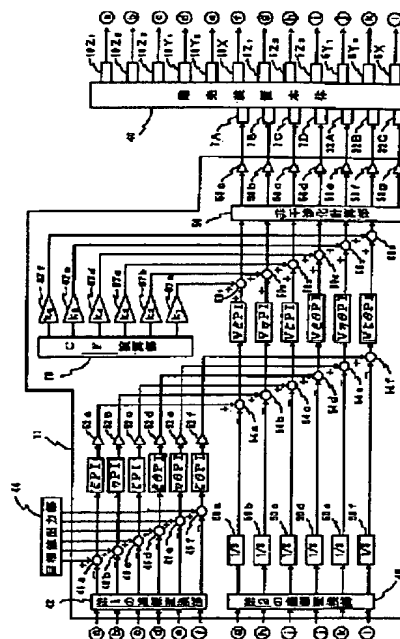
(21) Application number: **09068266**(71) Applicant: **NIKON CORP**(22) Date of filing: **21.03.97**(72) Inventor: **TAKAHASHI MASATO**(54) **VIBRATION ABSORBING DEVICE AND STEPPER**

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve vibration controlling effect, by preventing generation of crosstalk at the time of vibration absorption driving of an active vibration absorbing device and by controlling rotational component of residual vibrations.

**SOLUTION:** Vibrations of a stepper body 40 (a whole unit placed on a table) are controlled according to output of displacement sensors 10Z<sub>1</sub>-10X and vibration sensors 5Z<sub>1</sub>-5X. Output from the sensors is exially converted in the direction of main axis of inertia of the stepper body 40. Displacement component and vibration component along 6 degrees of freedom in a coordinate system along the main axis of inertia are determined. Vibrations are controlled by making the actuators 7A-7D and 32A-32C generate thrust on a base of the displacement component and vibration component. Vibrations are also controlled by feeding forward of the thrust of the actuators 7A-7D and 32A-32C on a base of an estimated value of component along 6 degrees of freedom in a coordinate system along the main axis of inertia of a reaction force of an XY stage and a reticle stage which move with acceleration and deceleration on the stepper body 40.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-270309

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 0 3 F

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

// F 1 6 F 15/04

F 1 6 F 15/04

F

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平9-68266

(22) 出願日

平成9年(1997)3月21日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 正人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 弁理士 永井 冬紀

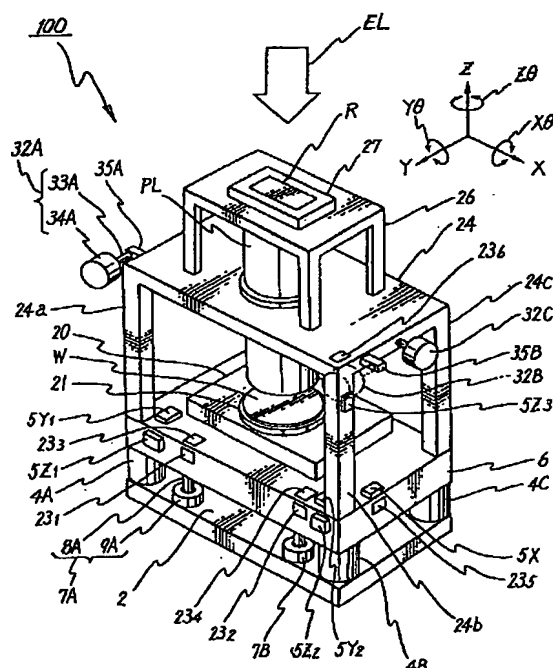
(54) 【発明の名称】 除振装置及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 アクティブ除振装置の除振駆動時にクロストークの発生を防止するとともに残留振動の回転成分を抑制し、制振効果を向上させる。

【解決手段】 変位センサ10Z<sub>1</sub>~10X、振動センサ5Z<sub>1</sub>~5Xからの出力をもとに露光装置本体(定盤6の上部に設置された装置全体)の制振制御をする。このとき、各センサからの出力を露光装置本体の慣性主軸の方向に主軸変換を行い、慣性主軸に沿う座標系における6自由度方向に沿う変位成分および振動成分を求める。この変位成分および振動成分をもとにアクチュエータ7A~7D、32A~32Cに推力を発生させて振動を抑制する。また、露光装置本体上で加減速移動をするXYステージ20およびレチクルステージ27による反力の慣性主軸に沿う座標系における6自由度方向に沿う成分の予測値に基づき、アクチュエータ7A~7D、32A~32Cの推力にフィードフォワードして振動を抑制する。

【図 1】



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 除振パッドを介して水平に保持された除振台と、  
前記除振台を6自由度方向に駆動する複数のアクチュエータと、  
前記除振台の変位を検出する1又は2以上の変位センサと、  
前記除振台の振動を検出する1又は2以上の振動センサと、  
前記変位センサおよび前記振動センサから検出された変位および振動に基づき、前記除振台を、前記除振台の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動して前記変位および振動を抑制するように前記複数のアクチュエータの駆動力配分を決めてフィードバック制御する振動制御系とを有することを特徴とする除振装置。

【請求項2】 請求項1に記載の除振装置において、  
前記除振台上で移動する少なくとも一つのステージと、  
前記ステージの移動の際の加減速により生ずる反力の予測値に基づき、前記除振台を、前記除振台の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動して前記除振台の変位および振動を抑制するように前記複数のアクチュエータの駆動力配分を決めてフィードフォワード制御する振動補償系とをさらに有することを特徴とする除振装置。

【請求項3】 マスクに形成されたパターンを、投影光学系を介して基板ステージ上の基板に転写する露光装置であって、  
前記請求項1又は2に記載の除振装置を露光装置本体の除振装置として具備することを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、除振装置及び露光装置に係り、更に詳しくは、除振台の振動を打ち消すようにアクチュエータにより除振台を駆動するいわゆるアクティブ方式の除振装置及びこの除振装置を備えた露光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置、即ちいわゆるステッパ等の精密機器の高精度化に伴い、設置床から定盤（除振台）に作用する微振動をマイクロGレベルで絶縁する必要が生じている。除振装置の除振台を支持する除振パッドとしてはダンピング液中に圧縮コイルバネを入れた機械式ダンパや空気式ダンパ等、種々のものが使用され、除振パッド自体がある程度のセンタリング機能を備えている。特に、空気式ダンパを備えた空気バネ除振装置はバネ定数を小さく設定でき、約10Hz以上の振動を絶縁することから、精密機器の支持に広く用いられている。また、最近では従来のパッシブ除振装置の限界を打破するために、アクティブ除振装置が提案されている（例えば、本願と同一出願人に係る特願平7-83577号等参照）。こ

れは、除振台の振動をセンサで検出し、このセンサの出力に基づいてアクチュエータを駆動することにより振動制御を行う除振装置であり、低周波制御帯域に共振ピークの無い理想的な振動絶縁効果を持たせることができるものである。

【0003】上述の除振装置では、主に除振を行うための速度ループと、本体の位置決めを行うための位置ループとの組み合わせで除振台の制御ループが構成されている。そして、除振台には6個の振動センサと6個の位置センサとが取り付けられており、これらセンサから求められる6自由度方向の変位および振動を、除振装置の設計の際に便宜上定めた直交座標系（機械設計上の座標系）における6自由度方向の運動に変換し、この変換結果に基づいて制振フィードバック制御をしていた。

【0004】また、除振台上でステージが加減速を繰り返す際に生ずる反力による除振台の加振を防止するために、この反力と同じ大きさで逆向きの力（カウンタフォース）をフィードフォワードで入力することにより、上述の制御ループ内の位置ループのゲインを高める必要がなく、したがって良好な床振動の遮断性を維持しつつ、ステージの加減速による振動を抑制することが可能となっていた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上述の除振台全体の慣性主軸が機械設計上の座標系に対して大きく傾斜していることがあった。これは、設計の制約上から、例えば照明系などのような重量物が除振台上の偏った位置に設置されているためで、機械設計上の座標系の所定の座標軸方向に沿ってサーボをかけた場合に、この慣性主軸の傾斜のため、所定の座標軸方向と異なる方向にも除振台が動いてしまう現象、すなわちクロストークが発生することがあり、このクロストークの発生を防止するためにはサーボ剛性を高める必要があった。

【0006】また、カウンタフォースをフィードフォワード入力するときに、ステージの加減速タイミングに対してカウンタフォースの入力タイミングが若干遅れた場合、その遅れたカウンタフォースによって装置は加振されることになり、これによって除振台に残留振動が発生する。さらに、従来の技術に係る除振装置における残留振動を考えた場合、慣性主軸回りに回転運動成分を有する形で動きだした除振台に対して機械設計上の座標系でカウンタフォースを入力していたため、このカウンタフォースの入力遅れによって、本体の残留振動には慣性主軸まわりの回転運動成分が大きく残ってしまっていた。

【0007】本発明は、かかる事情のもとになされたもので、その目的はアクティブ除振駆動時のクロストークを防止するとともに、カウンタフォースのフィードフォワード入力に遅れがあっても除振台に発生する回転方向の残留振動を抑制し、これにより制振効果を向上させる

ことができる除振装置及びこれを備えた露光装置を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】一実施の形態を示す図1および図3に対応付けて本発明を説明する。

(1) 請求項1に記載の発明は、除振パッド4A~4D(4Dは不図示)を介して水平に保持された除振台6と；除振台6を6自由度方向に駆動する複数のアクチュエータ7A~7D、32A~32C(アクチュエータ7Cおよび7Dは不図示)と；除振台6の変位を検出する1又は2以上の変位センサ10Z<sub>1</sub>~10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>~10Y<sub>3</sub>、10Xと；除振台6の振動を検出する1又は2以上の振動センサ5Z<sub>1</sub>~5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>~5Y<sub>3</sub>、5Xと；変位センサ10Z<sub>1</sub>~10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>~10Y<sub>3</sub>、10Xおよび振動センサ5Z<sub>1</sub>~5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>~5Y<sub>3</sub>、5Xから検出された変位および振動に基づき、除振台6を、除振台6の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動して変位および振動を抑制するように複数のアクチュエータ7A~7D、32A~32Cの駆動力配分を決めてフィードバック制御する振動制御系とを有することにより、上述の目的を達成する。。

(2) 請求項2に記載の除振装置は、除振台上で移動する少なくとも一つのステージ20、27と；ステージ20、27の移動の際の加減速により生ずる反力の予測値に基づき、除振台6を、除振台6の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動して除振台6の変位および振動を抑制するように複数のアクチュエータ7A~7D、32A~32Cの駆動力配分を決めてフィードフォワード制御する振動補償系とをさらに有するものである。

(3) 請求項3に記載の発明は、マスクRに形成されたパターンを、投影光学系PLを介して基板ステージ上の基板Wに転写する露光装置に請求項1または2に記載の発明を適用したものである。

【0009】なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段の項では、本発明を分かりやすくするために発明の実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が実施の形態に限定されるものではない。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図1~図6参照して説明する。

【0011】図1には、一実施の形態に係るステップ・アンド・スキャン型の露光装置100の概略斜視図が示されている。この図1において、設置面としての床上に長方形板状の台座2が設置され、この台座2上に除振パッド4A~4D(但し、図1では紙面奥側の除振パッド4Dは図示せず)が設置され、これらの除振パッド4A~4D上に除振台としての長方形の定盤6が設置されている。ここで、後述するように本実施の形態では投影光学系PLが使用されているため、投影光学系PLの光軸に平行にZ軸を取り、Z軸に直交する平面内で定盤6

の長手方向にX軸を、これに直交する方向にY軸を取る。また、それぞれの軸回りの回転方向をZ $\theta$ 、X $\theta$ 、Y $\theta$ 方向と定める。なお、以下の説明において、必要に応じ、図1中のX、Y、Z軸を示す各矢印の示す方向を+X、+Y、+Z方向、これと反対の方向を-X、-Y、-Z方向と区別して用いるものとする。

【0012】除振パッド4A~4Dは、それぞれ定盤6の長方形の底面の4個の角部付近に配置されている。本実施の形態では、除振パッド4A~4Dとして空気式ダンパが使用され、空気の圧力により除振パッド4A~4Dの高さを調整できるため、その空気式ダンパは上下動機構の役目をも兼ねている。勿論、上下動機構を別に入れてダンピング液中に圧縮コイルばねを入れた機械式ダンパ等を除振パッドとして使用してもよい。

【0013】台座2と定盤6との間に除振パッド4Aと並列にアクチュエータ7Aが設置されている。アクチュエータ7Aは、台座2上に固定された固定子9Aと定盤6の底面に固定された可動子8Aとから構成され、制御装置11(図1では図示省略、図3参照)からの指示に応じて台座2から定盤6の底面に対するZ方向の付勢力、又は定盤6の底面から台座2に向かう吸引力を発生する。他の除振パッド4B~4Dにおいても、除振パッド4Aと同様にそれぞれ並列にアクチュエータ7B~7Dが設置され(但し、図1では紙面奥側のアクチュエータ7C、7Dは図示せず)、これらのアクチュエータ7B~7Dの付勢力又は吸引力もそれぞれ制御装置11(図1では図示省略、図3参照)により設定される。アクチュエータ7A~7Dの制御方法については、後述する。

【0014】次に、アクチュエータ7Aの具体的構成について図2に基づいて説明する。

【0015】図2(a)には、アクチュエータ7Aの構成の一例が示されている。この図2(a)において、固定子9Aは、N極の軸9Aaの両側にS極の軸9Ab、9Acが形成されたマグネットよりなる。また、可動子8Aは、軸9Aaに遊嵌する内筒12、この内筒12の外側に巻回されたコイル13、及びこのコイル13を覆う外筒14より構成され、コイル13に流れる電流を調整することにより、固定子9Aと可動子8Aとの間に軸9Aaに平行な方向(±Z方向)の力が発生する。

【0016】図2(b)には、アクチュエータ7Aの別の例が示されている。この図2(b)において、第1部材15に磁性体の固定子16が固定され、第2部材17に固定子16を挟むように内筒18A及び18Bが固定され、内筒18A及び18Bの外側にそれぞれコイル19A及び19Bが巻回されている。この場合も、コイル19A及び19Bに流す電流を調整することにより、第1部材15と第2部材17との間の吸引力のバランスを変化させて力を発生する。その他のアクチュエータ7B~7Dもアクチュエータ7Aと同様に構成されている。

【0017】図1に戻り、定盤6の+Y方向側の側面には、定盤6のZ方向加速度を検出する振動センサとしての加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>が取り付けられている。また、定盤6上面の+Y方向端部には定盤6のY方向加速度を検出する振動センサとしての加速度センサ5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>が取り付けられ、定盤6上面の+X方向端部には定盤6のX方向加速度を検出する振動センサとしての加速度センサ5Xが取り付けられている。これらの加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5Xとしては、例えば半導体式加速度センサが使用される。これらの加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5Xの出力も制御装置11（図1では図示省略、図3参照）に供給されている。

【0018】また、定盤6の+Y方向側の側面には、所定面積の矩形の金属板（導電性材料）23<sub>1</sub>、23<sub>2</sub>が貼り付けられている。本実施の形態では、定盤6として非導電性材料であるセラミックス製の定盤が使用されており、金属板23<sub>1</sub>、23<sub>2</sub>に対向する位置に定盤のY方向変位を検出する変位センサ10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>（図1では図面の錯綜をさけるため図示省略、図3参照）が設けられている。これらの変位センサ10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>としては、例えば、渦電流変位センサが使用される。この渦電流変位センサによれば、予め絶縁体に巻いたコイルに交流電圧を加えておき、導電性材料（導電体）から成る測定対象に近づけると、コイルによって作られた交流磁界によって導電体に渦電流が発生し、この渦電流によって発生する磁界は、コイルの電流によって作られた磁界と逆方向であり、これら2つの磁界が重なり合っ、コイルの出力に影響を与え、コイルに流れる電流の強さ及び位相が変化する。この変化は、対象がコイルに近いほど大きくなり、逆に遠いほど小さくなるので、コイルから電気信号を取り出すことにより、対象の位置、変位を知る事ができる。この他、変位センサとして、静電容量がセンサの電極と測定対象物間の距離に反比例することを利用して非接触でセンサと測定対象物間の距離を検出する静電容量式非接触変位センサを使用しても良い。なお、背景光の影響を阻止できる構成にすれば、変位センサとしてPSD（半導体光位置検出器）などを使用することも可能である。

【0019】また、定盤6上面の+Y方向端部には所定面積の金属板23<sub>1</sub>、23<sub>2</sub>が貼り付けられている。これらの金属板23<sub>1</sub>、23<sub>2</sub>に対向して定盤6のZ方向変位を検出する渦電流変位センサから成る変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>（図1では図示省略、図3参照）が設けられている。さらに、定盤6上面の+X方向の側面には所定面積の金属板23<sub>3</sub>が貼り付けられ、この金属板23<sub>3</sub>に対向して定盤6のX方向変位を検出する渦電流変位センサから成る変位センサ10X（図1では図示省略、図3参照）が設けられている。変位センサ10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Xの出力も制御装置11

（図1では図示省略、図3参照）に供給されている。

【0020】定盤6上には図示しない駆動手段によってXY2次元方向に駆動される基板ステージとしてのXYステージ20が載置されている。更に、このXYステージ20上にZレベリングステージ、θステージ（いずれも図示省略）及びウエハホルダ21を介して感光基板としてのウエハWが吸着保持されている。また、定盤6上でXYステージ20を囲むように第1コラム24が植設され、第1コラム24の上板の中央部に投影光学系PLが固定され、第1コラム24の上板に投影光学系PLを囲むように第2コラム26が植設され、第2コラム26の上板の中央部にレチクルステージ27を介してマスクとしてのレチクルRが載置されている。

【0021】XZレベリングステージは、Z軸方向の駆動及びZ軸に対する傾斜が調整可能に構成され、θステージはZ軸回りの微小回転が可能に構成されている。従って、XYステージ20、Zレベリングステージ及びθステージによって、ウエハWは3次的に位置決めが可能となっている。

【0022】レチクルステージ27は、レチクルRのY軸方向の微調整、及び回転角の調整が可能に構成されている。また、このレチクルステージ27は、図示しない駆動手段によってX方向に駆動されるようになっている。

【0023】更に、レチクルRの上方には、図示しない照明光学系が配置され、図示しない主制御装置ではレチクルR及びウエハWの相対位置合わせ（アライメント）及び図示しない焦点検出系によるオートフォーカスを行ないつつ、照明光学系からの露光用の照明光ELの下で、レチクルRのパターンの投影光学系PLを介した像をウエハWの各ショット領域に順次露光するようになっている。本実施の形態では、各ショット領域の露光に際しては主制御装置によりXYステージ20とレチクルステージ27とがそれぞれの駆動手段を介してX軸方向（走査方向）に沿って所定の速度比で相対走査される。

【0024】第1コラム24は、4本の脚部24a～24d（但し、図1では紙面奥側の脚部24dは図示せず）により定盤6上に設置されている。脚部24bの+X方向の側面には、第1コラム24のZ方向の加速度を検出する加速度センサ5Z<sub>3</sub>が取り付けられている。この加速度センサ5Z<sub>3</sub>としては、例えばピエゾ抵抗効果型あるいは静電容量型の半導体式加速度センサが使用される。この加速度センサ5Z<sub>3</sub>の出力も制御装置11

（図1では図示省略、図3参照）に入力されている。また、第1コラム24の上板上面の+Y方向端部でかつ+X方向端部となるコーナーの部分には、所定面積の金属板23<sub>3</sub>が貼り付けられている。この金属板23<sub>3</sub>に対向して第1コラム24のZ方向変位を検出する渦電流変位センサから成る変位センサ10Z<sub>3</sub>（図1では図示省略、図3参照）が設けられている。

【0025】更に、第1コラム24の-X方向の側面にピン35Aが埋め込まれ、ピン35Aと床上に固定された図示しない支柱との間にアクチュエータ32Aが取り付けられている。アクチュエータ32Aは、アクチュエータ7Aと同様に、図示しない支柱に固定されたマグネットよりなる固定子34Aと、ピン35Aに取り付けられたコイルを含む可動子33Aとから構成され、制御装置11から可動子33A内のコイルに流れる電流を調整することにより、ピン35Aに対して±Y方向に力を与えることができる。同様に、第1コラム24の+X方向の側面にピン35Bが埋め込まれ、ピン35Bと床上に固定された図示しない支柱との間に、アクチュエータ32Aと同一構成のアクチュエータ32Bが取り付けられ、制御装置11からの指示によりピン35Bに対して±Y方向に力を与えることができるようになっている。また、第1コラム24の+X方向の側面の中央部と床上の図示しない支柱との間に、アクチュエータ32Aと同一構成のアクチュエータ32Cが設置され、制御装置11からの指示によりアクチュエータ32Cを介して第1コラム24に対して±X方向に力を与えることができる。制御装置11による、アクチュエータ32A～32Cの制御方法についても後述する。

【0026】ここで、露光装置100の設置時の定盤6の高さ及び水平レベルの調整について簡単に説明すると、変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Z<sub>3</sub>で計測された定盤6のZ方向変位（高さ）が図示しない除振パッド4A～4Dの制御系（図示省略）に伝えられ、これらのデータを基に除振パッド4A～4Dの制御系は、定盤6の高さを予め設定されている値にすると共に水平レベルを維持するための各除振パッド4A～4Dの高さを算出する。その後、この制御系は、除振パッド4A～4Dの高さをそれぞれその算出された高さに設定する。その後、除振パッド4A～4Dの高さはそれぞれその設定値に維持される。これにより、定盤6に歪みを生ずることがなく、定盤6上のXYステージ20の位置決め精度等が高精度に維持される。

【0027】本実施の形態では、定盤6、XYステージ20、ウエハホルダ21、第1コラム24、投影光学系PL、第2コラム26、及びレチクルステージ27等により露光装置本体40（図1参照）が構成されている。

【0028】次に、この露光装置本体40の除振のためのアクチュエータ7A～7D、32A～32Cの制御系について、制御装置11を中心に、図3のブロック図に基づいて説明する。

【0029】制御装置11は、不図示のCPUで構成され、変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10X及び加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>、5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5Xの出力に基づいて定盤6を含む露光装置本体40の振動を抑制するようにアクチュエータ7A、7B、7C、7D、32A、32B、32C

を駆動制御する振動制御系と、XYステージ20、レチクルステージ27の移動時、例えばスキャン露光のためのXYステージ20、レチクルステージ27の走査時の加減速動作により生じる反力を予測し、この反力を補正するような指令値を振動制御系にフィードフォワード入力する振動補償系とを有する。

【0030】これら振動制御系および振動補償系について以下に順次説明する。

【0031】振動制御系は、第1の座標変換部42と、6つの減算器46a～46fと、位置コントローラ $\xi P I$ 、 $\eta P I$ 、 $\zeta P I$ 、 $\xi \theta P I$ 、 $\eta \theta P I$ 、 $\zeta \theta P I$ と、6つの速度変換ゲイン52a～52fと、第2の座標変換部48と、6つの積分器50a～50fと、6つの減算器54a～54fと、速度コントローラ $V \xi P I$ 、 $V \eta P I$ 、 $V \zeta P I$ 、 $V \xi \theta P I$ 、 $V \eta \theta P I$ 、 $V \zeta \theta P I$ と、6つの加算器60<sub>1</sub>～60<sub>6</sub>と、非干渉化計算部56と、7つの推力ゲイン58a～58gとから成る。そして、第1の座標変換部42は、変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10Xの出力を図示しないA/Dコンバータをそれぞれ介して入力し、露光装置本体40の重心の、機械設計上の座標系における6自由度方向（X、Y、Z、X $\theta$ 、Y $\theta$ 、Z $\theta$ ：図1参照）の変位量（x、y、z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ ）に変換し、次いで露光装置本体40の慣性主軸まわりの座標系（慣性主軸座標系）における6自由度方向の変位量（ $\xi$ 、 $\eta$ 、 $\zeta$ 、 $\theta \xi$ 、 $\theta \eta$ 、 $\theta \zeta$ ）に変換する。減算器46a～46fは、第1の座標変換部42で変換後の、慣性主軸座標系における6自由度方向の変位量（ $\xi$ 、 $\eta$ 、 $\zeta$ 、 $\theta \xi$ 、 $\theta \eta$ 、 $\theta \zeta$ ）を目標値出力部44から入力される慣性主軸座標系における重心位置の制御目標値（ $\xi_0$ 、 $\eta_0$ 、 $\zeta_0$ 、 $\theta \xi_0$ 、 $\theta \eta_0$ 、 $\theta \zeta_0$ ）からそれぞれ減じて慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の位置偏差（ $\Delta \xi = \xi_0 - \xi$ 、 $\Delta \eta = \eta_0 - \eta$ 、 $\Delta \zeta = \zeta_0 - \zeta$ 、 $\Delta \theta \xi = \theta \xi_0 - \theta \xi$ 、 $\Delta \theta \eta = \theta \eta_0 - \theta \eta$ 、 $\Delta \theta \zeta = \theta \zeta_0 - \theta \zeta$ ）をそれぞれ算出する。位置コントローラ $\xi P I$ 、 $\eta P I$ 、 $\zeta P I$ 、 $\xi \theta P I$ 、 $\eta \theta P I$ 、 $\zeta \theta P I$ は、慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の位置偏差 $\Delta \xi$ 、 $\Delta \eta$ 、 $\Delta \zeta$ 、 $\Delta \theta \xi$ 、 $\Delta \theta \eta$ 、 $\Delta \theta \zeta$ を動作信号として制御動作を行なうP Iコントローラから成る。速度変換ゲイン52a～52fは、位置コントローラ $\xi P I$ 、 $\eta P I$ 、 $\zeta P I$ 、 $\xi \theta P I$ 、 $\eta \theta P I$ 、 $\zeta \theta P I$ からの出力を速度指令値 $\xi_0'$ 、 $\eta_0'$ 、 $\zeta_0'$ 、 $\theta \xi_0'$ 、 $\theta \eta_0'$ 、 $\theta \zeta_0'$ にそれぞれ変換する。第2の座標変換部48は、加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>、5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5Xの出力を図示しないA/Dコンバータをそれぞれ介して入力し、機械設計上の座標系における重心の6自由度のそれぞれの方向の加速度（x''、y''、z''、 $\theta_x''$ 、 $\theta_y''$ 、 $\theta_z''$ ）に変換し、次いで慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の加速度（ $\xi''$ 、 $\eta''$ 、

$\zeta''$ 、 $\theta'' \xi$ 、 $\theta'' \eta$ 、 $\theta'' \zeta$ )に変換する。6つの積分器50a~50fは、第2の座標変換部48で変換後の、慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の加速度成分( $\xi''$ 、 $\eta''$ 、 $\zeta''$ 、 $\theta'' \xi$ 、 $\theta'' \eta$ 、 $\theta'' \zeta$ )をそれぞれ積分してそれぞれの方向の速度成分( $\xi'$ 、 $\eta'$ 、 $\zeta'$ 、 $\theta' \xi$ 、 $\theta' \eta$ 、 $\theta' \zeta$ )に変換する。6つの減算器54a~54fは、速度指令ゲイン52a~52fより出力された速度指令値( $\xi_0'$ 、 $\eta_0'$ 、 $\zeta_0'$ 、 $\theta' \xi_0$ 、 $\theta' \eta_0$ 、 $\theta' \zeta_0$ )から積分器50a~50fの出力( $\xi'$ 、 $\eta'$ 、 $\zeta'$ 、 $\theta' \xi$ 、 $\theta' \eta$ 、 $\theta' \zeta$ )をそれぞれ減じて慣性主軸座標における6自由度のそれぞれの方向の速度偏差( $\Delta \xi' = \xi_0' - \xi'$ 、 $\Delta \eta' = \eta_0' - \eta'$ 、 $\Delta \zeta' = \zeta_0' - \zeta'$ 、 $\Delta \theta' \xi = \theta' \xi_0 - \theta' \xi$ 、 $\Delta \theta' \eta = \theta' \eta_0 - \theta' \eta$ 、 $\Delta \theta' \zeta = \theta' \zeta_0 - \theta' \zeta$ )を算出する。速度コントローラV $\xi$ PI、V $\eta$ PI、V $\zeta$ PI、V $\xi \theta$ PI、V $\eta \theta$ PI、V $\zeta \theta$ PIは、慣性主軸座標における6自由度のそれぞれの方向の速度偏差 $\Delta \xi'$ 、 $\Delta \eta'$ 、 $\Delta \zeta'$ 、 $\Delta \theta' \xi$ 、 $\Delta \theta' \eta$ 、 $\Delta \theta' \zeta$ を動作信号として制御動作を行なうPIコントローラから成り、慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の速度制御をする。6つの加算器60<sub>1</sub>~60<sub>6</sub>は、速度コントローラV $\xi$ PI~V $\zeta \theta$ PIからの出力と、後述する速度変換ゲイン67a~67fからの出力を加算するためのものである。非干渉化計算部56は、加算器60<sub>1</sub>~60<sub>6</sub>から出力された速度制御量を、各アクチュエータの位置で発生すべき速度指令値に変換するための非干渉化演算を行なう。推力ゲイン58a~58gは、非干渉化計算部56で変換後の各アクチュエータの位置で発生すべき速度指令値を各アクチュエータで発生すべき推力にそれぞれ変換する。

【0032】上記説明において、第1の座標変換部42および第2の座標変換部48は、各センサからの出力をそれぞれ2回づつ座標変換しているが、ここで図4および図5を参照して、上述した第1の座標変換部42および第2の座標変換部48について説明する。図4に示す第1の座標変換部42の前段座標変換部421における変換マトリクスA<sub>1</sub>は変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10Xからの出力を機械設計上の座標系における6自由度方向の変位量に変換するためのもので、変位センサ10Z<sub>1</sub>、10Z<sub>2</sub>、10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10Xの除振台への取り付け位置や、これら変位センサの感度等を加味して機種ごとに予め決められる。一方、第1の座標変換部42の後段座標変換部422における変換マトリクスA<sub>2</sub>は機械設計上の座標系における6自由度方向の変位量を、慣性主軸座標系における6自由度方向の変位量に変換するためのもので、除振装置や露光装置などの重心位置や機械設計上の座標系に対する慣性主軸の方向などによって機種ごとに予め決められる。

【0033】図5に示す第2の座標変換部48の前段座標変換部481における変換マトリクスB<sub>1</sub>、後段座標変換部482における変換マトリクスB<sub>2</sub>も図4に示す第1の座標変換部42の変換マトリクスと同様であり、変換マトリクスB<sub>1</sub>は加速度センサ5Z<sub>1</sub>、5Z<sub>2</sub>、5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5Xからの出力を機械設計上の座標系における6自由度方向の加速度に変換し、変換マトリクスB<sub>2</sub>は機械設計上の座標系における6自由度方向の加速度を、慣性主軸座標系における6自由度方向の加速度に変換するためのものであり、これらの変換マトリクスB<sub>1</sub>およびB<sub>2</sub>についても機種ごとに予め決められる。

【0034】以上のように、本実施の形態の振動制御系は、変位センサ、位置コントローラ等を含んで構成される位置制御ループの内側に、その内部ループとして加速度センサ、積分器、速度コントローラ等を含んで構成される速度制御ループを有する多重ループ制御系となっている。

【0035】続いて振動補償系について説明すると、この振動補償系は、図3に示すようにカウンタフォース演算部(CF演算部)66と、このCF演算部66からの出力を速度指令値に変える速度変換ゲイン67a~67fとを有している。そして速度変換ゲイン67a~67fの出力は、加算器60<sub>1</sub>~60<sub>6</sub>を介して振動制御系にフィードフォワード入力されている。

【0036】以上のように構成された振動補償系の作用について説明する。図1に示す露光装置100において、ウェハW上のショットを露光する際には、レチクルステージ27とXYステージ20とが走査方向、すなわち、X軸方向に互いに逆向きに同期走査される。この際にレチクルステージ27は、1ショットにつき1回、当該レチクルステージ27の可動範囲を端から端までXYステージ20の速度の投影光学系PLの縮小倍率の逆数倍(例えば、4倍又は5倍)の速度で移動し、しかも露光は定速域でのみ行なわれることから、レチクルステージ27は①停止状態から目標速度まで加速、②目標速度を維持、③目標速度から停止状態まで減速の3つの状態遷移を行なうことになり、ステージ27の移動開始直後①及びステージ27の停止直前③には大きな反力が第2コラム26を介して定盤6に作用し、定盤6を含む露光装置本体40に振動を生じる。また、XYステージ20の移動によっても露光装置本体40に振動を生じる。このXYステージ20、レチクルステージ27の加減速により生ずる反力を相殺するための反力指令値をCF演算部66より振動制御系にフィードフォワード入力し、上記のステージ27の移動開始直後及び停止直前に生ずる露光装置本体40の振動を抑制する。

【0037】ここで、上述のXYステージ20、レチクルステージ27は機械設計上の座標系に沿って作動するので、このときのXYステージ20、レチクルステージ27加減速動作に伴う反力も機械設計上の座標系に沿っ

て作用する。しかし、この反力により、露光装置本体40の振動は慣性主軸方向に発生するので、この慣性主軸方向に発生する振動を抑制するため、CF演算部66は図6に示す構成により慣性主軸座標系に沿って反力指令を出力する。すなわち、XYステージ20あるいはレチクルステージ27の加減速予定量に基づき、反力予測値算出部661で機械設計上の座標系における6自由度方向の反力予測値( $x''$ 、 $y''$ 、 $z''$ 、 $\theta''$ 、 $\phi''$ 、 $\psi''$ )を算出し、そして座標変換部662で慣性主軸座標系における6自由度方向の反力予測値( $\xi''$ 、 $\eta''$ 、 $\zeta''$ 、 $\theta''$ 、 $\phi''$ 、 $\psi''$ )に変換した後、反力指令値算出部663で振動の抑制に必要な反力を算出して出力する。

【0038】以上説明したように、本実施の形態によれば、除振台の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動するように複数のアクチュエータの駆動力配分を決めて制御することにより、位置制御ループのゲインを高くしたり、サーボ剛性を高めたりすることなく外界からの振動を効果的に遮断するとともに、XYステージ20、レチクルステージ27の加減速による露光装置本体40の振動を抑制できる。

【0039】なお、上記実施の形態では本発明に係る除振装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置に適用される場合を例示したが、本発明の除振装置はステッパ方式の投影露光装置であっても定盤上をステージが移動するものであるから好適に適用できるものである。ステッパ方式の投影露光装置の場合には、一括露光型であるので露光時にはステージは停止しているからカウンタフォースは不要である。

【0040】さらに本実施の形態に係る除振装置は、上記実施の形態で説明した光学式の露光装置のみならず、荷電粒子線露光装置にも適用可能である。

【0041】上記実施の形態では、7つのアクチュエータを用いて露光装置本体の6自由度方向の揺れを抑制する例について示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、アクチュエータとしては、少なくとも6つあれば6自由度方向の揺れを抑制することが可能である。

【0042】さらに、ステージの加減速にともなって露光本体部(装置本体)に作用する反力を予測し、これを補正するような指令値を用いてこの影響を相殺するようにフィードフォワードするという本発明の解決原理は、装置本体の6自由度方向の揺れを阻止する場合にのみ適用されるものではない。例えば、ステージが装置本体の重心位置上を移動するように構成されている場合には、ステージが移動しても装置本体は必ずしも6自由度方向に揺動しないことがあるが、このような場合であっても本発明の解決原理は、有効に機能することは明かだからである。この意味から、変位センサ、加速度センサ(振動センサ)の数も6つに限られるものではない。

【0043】また、図4および図5を参照して第1の座

標変換部42および第2の座標変換部48はそれぞれ前段座標変換部と後段座標変換部とで構成されていることについて説明したが、それぞれの前段座標変換部の変換マトリクスと後段座標変換部の変換マトリクスとを掛け合わせて、第1の座標変換部42および第2の座標変換部48が、それぞれ一つの変換マトリクスを有するようにしてもよい。

#### 【0044】

##### 【発明の効果】

(1) 請求項1に記載の発明によれば除振台の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動するように複数のアクチュエータの駆動力配分を決めて振動制御を行うので、位置制御ループのゲインを高めたりサーボ剛性を高めたりすることなく、除振装置のクロストークの発生を防止でき、振動を効果的に抑制することができる。

(2) 請求項2に記載の発明によれば、上述した請求項1に記載の発明による効果に加えて、ステージ移動の際の加減速に伴う反力の予測値に基づいて、振動台の慣性主軸に沿う6自由度方向に駆動するように複数のアクチュエータの駆動力配分を決めてフィードフォワード制御するので、ステージ移動時の反力による揺れを抑制することが可能であり、またカウンタフォースの入力に遅れを生じた場合でも、残留振動を確実に低減することができる。

(3) 請求項3に記載の発明によれば、露光装置の振動を確実に抑制できるので、露光装置の精度を向上することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】一実施の形態に係る投影露光装置を示す斜視図である。

【図2】(a)はアクチュエータ7Aの一例を示す拡大断面図、(b)はアクチュエータ7Aの他の例を示す拡大断面図である。

【図3】アクチュエータの制御系の構成を示す制御ブロック図である。

【図4】第1の座標変換部の構成を示すブロック図である。

【図5】第2の座標変換部の構成を示すブロック図である。

【図6】カウンタフォース演算部の構成を示すブロック図である。

##### 【符号の説明】

4A～4D 除振パッド

5Z<sub>1</sub>～5Z<sub>3</sub>、5Y<sub>1</sub>、5Y<sub>2</sub>、5X 加速度センサ  
(振動センサ)

6 定盤(除振台)

7A～7D、32A～32C アクチュエータ

10Z<sub>1</sub>～10Z<sub>3</sub>、10Y<sub>1</sub>、10Y<sub>2</sub>、10X 変位センサ

11 制御装置(振動制御系)

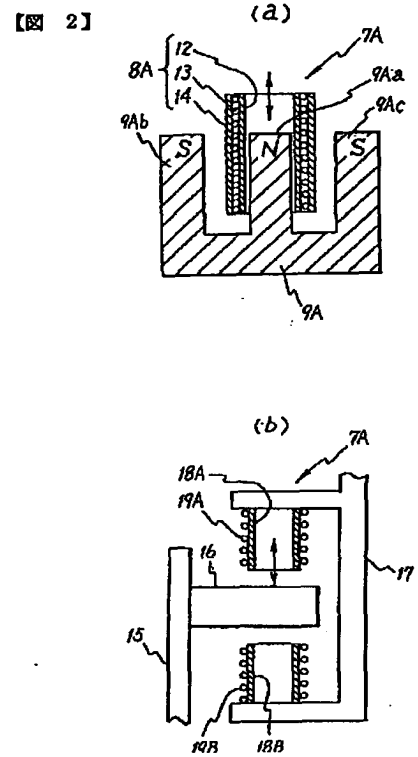


14

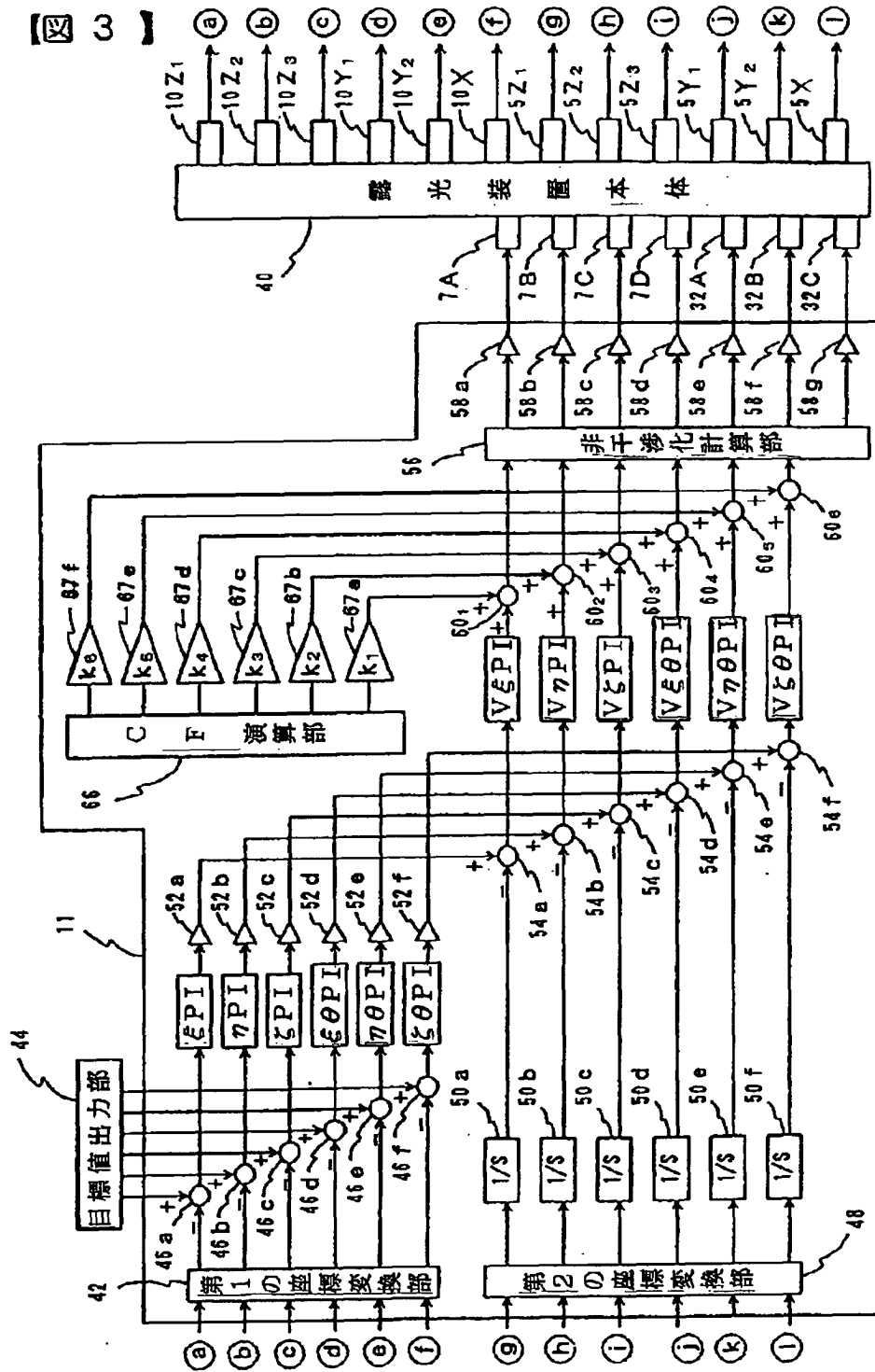
- \* 4 2 2、4 8 2 後段座標変換部  
6 6 1 反力予測値算出部  
6 6 2 座標変換部  
6 6 3 反力指令値算出部  
R レチクル (マスク)  
P L 投影光学系  
W ウエハ (感光基板)

\*

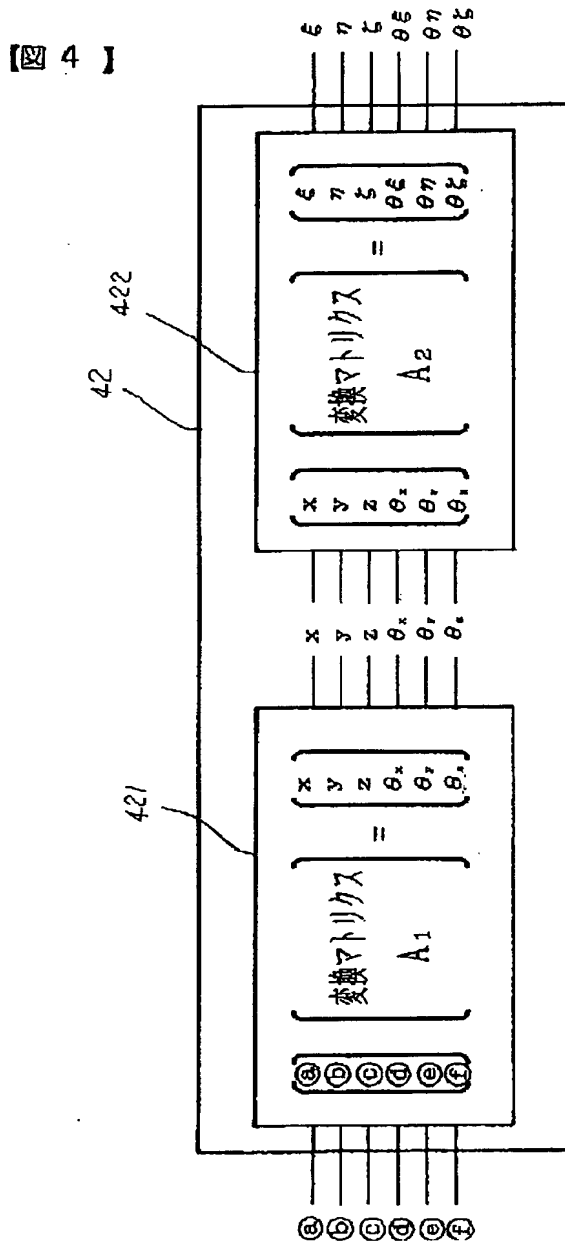
【図 2】



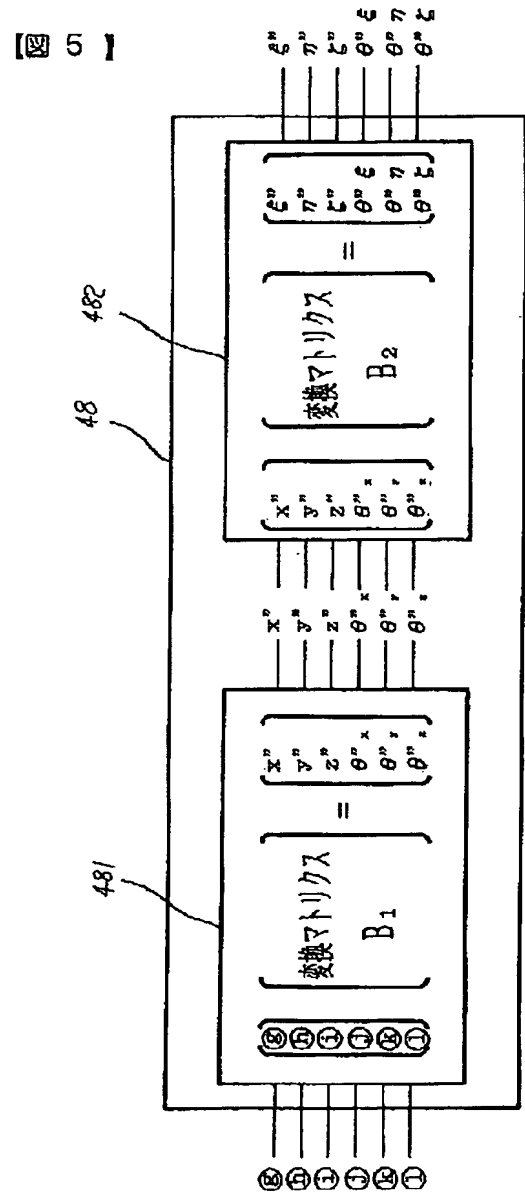
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

【図6】

